

BEST AVAILABLE COPY

4/5/1

DIALOG(R) File 351:Derwent, WPI  
(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

008608880 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 1991-112910/ 199116

XRPX Acc No: N91-086910

Superconductive wiring of high critical current valve - laminates double  
laminated structure of superconductor and material no indicating  
superconductive state in temperature NoAbstract Dwg 1/2

Patent Assignee: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE CORP (NITE )

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat. No	Kind	Date	Week
JP 3053413	A	19910307	JP 89187297	A	19890721	199116 B

Priority Applications (No Type Date): JP 89187297 A 19890721

Title Terms: SUPERCONDUCTING; WIRE; HIGH; CRITICAL; CURRENT; VALVE;  
LAMINATE; DOUBLE; LAMINATE; STRUCTURE; SUPERCONDUCTING; MATERIAL; NO;  
INDICATE; SUPERCONDUCTING; STATE; TEMPERATURE; NOABSTRACT

Derwent Class: X12

International Patent Class (Additional): H01B-012/06

File Segment: EPI

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-053413

(43)Date of publication of application : 07.03.1991

(51)Int.CI.

H01B 12/06

(21)Application number : 01-187297

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 21.07.1989

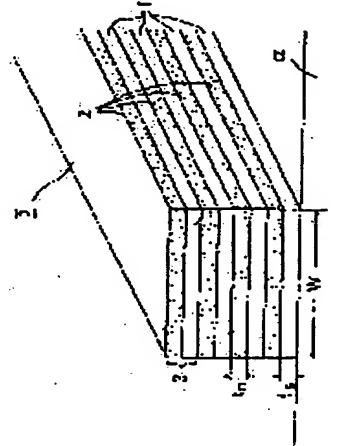
(72)Inventor : TAZO YASUO

## (54) SUPERCONDUCTIVE WIRING

### (57)Abstract:

PURPOSE: To obtain big critical current value by laminating a base unit of a double-lamination construction consisting of a superconductor and a material showing no superconductivity at a working temperature of a wiring a plurality of times.

CONSTITUTION: A double laminate 3 consisting of a superconductor 1 having the thickness  $t_s$  and a material 2 (insulator, semiconductor, metal, superconductor having superconductive transit temperature  $T_c$  under working temperature) showing no superconductive state at a working temperature of a wiring having the thickness  $t_n$  is made into a wiring  $\gamma$  being laminated  $N (>2)$  times. Accordingly, a magnetic field easily invades the material 2 showing no superconductive state at a working temperature while invading the superconductor 1 only by a characteristic from the surface due to a Meissner effect or a penning effect so that a current comes to flow on the surface of the superconductor 1. Thereby, a superconductive wiring having big critical current value can be obtained.



⑩ 日本国特許庁 (JP) ⑪ 特許出願公開  
⑫ 公開特許公報 (A) 平3-53413

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>  
H 01 B 12/06

識別記号 庁内整理番号  
ZAA 8936-5G

⑭ 公開 平成3年(1991)3月7日

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全6頁)

⑮ 発明の名称 超伝導配線

⑯ 特願 平1-187297  
⑰ 出願 平1(1989)7月21日

⑱ 発明者 田 雜 康 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲ 出願人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑳ 代理人 弁理士 菅 隆彦

明細書

1. 発明の名称

超伝導配線

2. 特許請求の範囲

1. 超伝導体と、配線の使用温度では超伝導を示さない物質とからなる2重構造構造を基本単位に、複数回積層することを特徴とする超伝導配線。

2. 超伝導体は、高T<sub>C</sub>酸化物超伝導体であることを特徴とする請求項1記載の超伝導配線。

3. 超伝導体と、配線の使用温度では超伝導を示さない物質とを、單結晶体としたことを特徴とする請求項2記載の超伝導配線。

4. 配線の使用温度では超伝導を示さない物質は、高T<sub>C</sub>酸化物超伝導体との格子の不整合率が4%以下であることを特徴とする請求項2記載の超伝導配線。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、高い臨界電流値を持つ超伝導配線、特にその構造の改良に関するものである。

(従来の技術)

超伝導体は直流での電気抵抗が零で、かつ高周波ロスも金属に比べ格段に小さいので、超伝導体配線は、半導体・超伝導LSI、光デバイス等のエレクトロニクス分野のみならず、電力輸送、マグネット等のパワーエレクトロニクスの分野でも、大きな期待が寄せられている。超伝導配線に電流を流していくと、ある電流値以上では超伝導状態が壊れ常伝導状態に転移する(超伝導状態を維持できる最大の電流値は、臨界電流値と呼ばれている)。つまり、臨界電流値以上の電流を配線に流すと、前記の零直流抵抗、低高周波ロス等の超伝導体の特徴が消失してしまう。従って、臨界電流値を増加させることは、超伝導配線の応用の鍵点から、非常に重要なになってくる。

超伝導配線の応用の形態は数多くあるが、最も基本的情況は、第2図に示すようなものである。これは、LSI上の配線として良く用いられる基本的構造である。Si、SiO<sub>2</sub>等の基板上に、幅W、厚みtの超伝導体からなる配線Bが形成さ

れる。ここで、この配線B構造における臨界電流値を求めてみる。

簡単化のために、まず、配線Bに流れる電流により生じる自己磁場と外部印加磁場との和が超伝導体の第1臨界磁場 $H_{c1}$ より小さい場合を考えてみる。この場合、マイスター効果のため電流は超伝導体表面からロンドンの侵入長さの深さまでの領域を表面電流として流れ。従って、臨界電流値 $I_{c1}$ は下式で与えられる。

$$I_{c1} = 2j_c \lambda (W + t - 2\lambda) \dots (1)$$

ここで、 $j_c$ は超伝導体の臨界電流密度である。幅Wが厚みtに比べ十分大きいと、近似的に

$$I_{c1} \sim 2j_c \lambda (W - 2\lambda) \dots (2)$$

となり、臨界電流値は厚みtに無関係になる。

(発明が解決しようとする課題)

つまり、従来の配線Bにおいては厚みtを厚く

回路構成する構成手段を採用することにより達成される。

(作用)

本発明が講じた前記手段として、超伝導体薄膜と、配線の使用温度では超伝導状態を示さない物質(絶縁体、半導体、金属、超伝導転移温度 $T_c$ が使用温度以下の超伝導体)とから形成された薄膜からなる2重積層構造を基本単位に、複数回積層した構造により、超伝導体の表面面積を増加させ、これにより、大きな臨界電流値を持つ超伝導配線を実現できる。

(実施例1)

本発明の第1実施例を第1図につき説明する。

本実施例は、厚み $t_s$ の超伝導体1と、厚み $t_n$ の配線の使用温度では超伝導状態を示さない物質2(絶縁体、半導体、金属、超伝導転移温度 $T_c$ が使用温度以下の超伝導体)からなる2重積層構造3を、N( $> 2$ )回積層した配線アである。この超伝導配線アの臨界電流値を求めてみる。使用温度では超伝導状態を示さない物質2(絶縁体、

しても臨界電流値を増加させることができないという最大の欠点を持っていることを意味している。

以上の説明は、自己磁場と外部印加磁場との和が超伝導体の第1臨界磁場 $H_{c1}$ より小さい場合であったが、 $H_{c1}$ より大きい場合は量子化磁束が超伝導体中に侵入する。しかし、量子化磁束は超伝導体表面から侵入するため表面近傍ほどその密度が高く、また磁場勾配により電流が流れることを考え併せると、ロンドンの侵入距離 $\lambda$ とは異なるがある特性距離(超伝導体のピニングの強さで決定される距離)の範囲を、電流は同様に表面電流として流れ。従って、前記欠点は同様に生じる。

こゝにおいて本発明は、前記従来の欠点に鑑み大きい臨界電流値を持つ超伝導配線を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

前記課題の解決は、本発明の超伝導配線が、超伝導体と、配線の使用温度では超伝導を示さない物質とからなる2重積層構造を基本単位に、複数

半導体、金属、超伝導転移温度 $T_c$ が使用温度以下の超伝導体)中には磁場が容易に侵入するが、超伝導体1中にはマイスター効果、あるいはピニング効果により表面からある特性距離のみしか侵入しないので、電流は超伝導体1の表面を流れることになる。従って、臨界電流値 $I_{c2}$ は各超伝導薄膜の表面電流の和となるので、

$$I_{c2} = 2j_c \lambda N (W + t_s - 2\lambda) \dots (3)$$

となる。同様に、幅Wが厚み $t_s$ に比べ十分大きいと、近似的に

$$I_{c2} \sim 2j_c \lambda N (W - 2\lambda) \dots (4)$$

となる。

ここで、配線ア全体の厚み $t$ は、

$$t = N (t_s + t_n) \dots (5)$$

で与えられる。(5)式のNを(4)式に代入すると、

$$I_{c2} \sim 2 j_c \lambda (W - 2\lambda) t / (t_s + t_n) \\ = I_{c1} t / (t_s + t_n) = N I_{c1} \dots (6)$$

となる。つまり、臨界電流密度  $I_{c2}$  は全体の膜厚に比例して増加すると共に、同じ厚みでも従来の単結晶超伝導配線の臨界電流密度  $I_{c1}$  に比べN倍大きな値を実現できることを意味している。

## (実施例2)

第2実施例としては、超伝導体1として、Pb、Nb、NbN、NbTi、PbIn等の、いわゆる低  $T_c$  超伝導体(1986年に発見された  $La_{1-x}M_xCuO_y$  (M: Sr, Ba) は超伝導転移温度  $T_c$  が30~40Kと従来超伝導体に比べ著しく高いことから、酸化物超伝導体の探索が進められ、転移温度  $T_c \sim 90K$  の  $LnBaCuO_y$  系 ( $Ln$  はイットリウム (Y)、あるいはランタノイド元素)、同じく~110Kの  $BiSrCaCuO_y$  系、同じく~120Kの  $TlBaCaCuO_y$  系の発見が相次いだ。

(実施例3)

第3実施例としては、超伝導体1として、これ

等の高  $T_c$  酸化物超伝導体を用いる場合である。前記した系の超伝導体、及び関連する酸化物超伝導体を本実施例として使用できる。本実施例の特徴は、配線Aの使用温度を上昇させることができることである(例えば、従来配線Bの超伝導体として、最高の転移温度23Kを持つ  $Nb_3Ge$  を適用した場合でも使用温度は高々23K以下であったが、酸化物超伝導体  $LnBaCuO_y$  系を用いると90K以下で使用できる。)。特に、工業的に広く用いられている液体窒素の沸点77Kでも動作させることができるために、冷却コストの低減等のために配線の適用領域を拡大できるメリットがある。

## (実施例4)

第4実施例としては、前記第3実施例において、超伝導体1、及び配線Aの使用温度で超伝導状態を示さない物質2を、两者共に単結晶形状にすることである。前記第3実施例において、例えば、 $T_c$  酸化物超伝導体として  $LnBaCuO_y$  系、使用温度で超伝導状態を示さない物質として金剛

A口を用いた場合、酸化物超伝導体とA口の格子定数が大きく異なるため、超伝導体1が微結晶の集合体、いわゆる多結晶体になってしまふ。酸化物超伝導体のコヒーレンス長は従来配線Bの超伝導体のコヒーレンス長に比べ極めて短かいため、結晶粒界に存在するバリアにより結晶間を超伝導電流が流れ難くなり、臨界電流密度  $j_c$  が桁違いに小さくなってしまう(単結晶では  $j_c$  は  $10^7 A/cm^2$ 、多結晶体では  $10^3 A/cm^2$  のオーダと4桁以上小さいことが報告されている。)。これは、酸化物超伝導体の物性に係わる酸化物超伝導体特有の問題である。配線Aの表面電流バスに結晶粒界が存在するため、積層構造による臨界電流の増大効果を打ち消す程に、臨界電流密度が大きく減少してしまう欠点を持っている。本実施例では、超伝導体1は単結晶体であるために結晶粒界は存在せず、結晶粒界による臨界電流密度の低下を防止することができる。従って、積層構造による臨界電流密度の増加効果を十分発揮させることができる。

本実施例で示した配線ア構造、つまり高  $T_c$  鋼化物超伝導体の単結晶薄膜、使用温度で超伝導状態を示さない物質から形成された単結晶薄膜からなる積層構造を実現するには、お互の上にエピタキシャル（相互エピタキシャルと呼ぶことにする。）成長が可能である必要がある。それには、格子定数の整合が満足されることが最も基本的条件である。ここで、鋼化物超伝導体の格子定数、および格子整合条件について考えてみる。 $La_{1-x}M_xCuO_y$  (M: Sr, Ba) 系は  $K_2NiF_4$  構造の正方晶で格子定数  $a \sim 3.78 \text{ \AA}$  である。 $Ln_1Ba_2Cu_3O_y$  系鋼化物超伝導体は基本的には斜方晶形で格子定数は  $a \sim 3.82 \text{ \AA}$ 、 $b \sim 3.88 \text{ \AA}$  であるが、この結晶構造は格子定数  $a_0$  の真正方晶として扱ってもよい ( $|a-b|/b \sim 1.5\%$ )。従って、 $a_0 \sim 3.85 \text{ \AA}$  の真正方晶と考えてよい。また、 $BiSrCaCuO_y$  系は  $\sim 80 \text{ K}$  相も  $\sim 110 \text{ K}$  相もほぼ正方晶で  $a_0 \sim 5.4 \text{ \AA}$  である。 $TlBaCaCuO_y$

系は、 $a_0 \sim 3.86 \text{ \AA}$  の正方晶系である。

(実施例 5)

次に、単結晶を実現するための格子の不整合の程度について説明する。最も、技術的に進んでる半導体の分野では、その不整合率は 1% 以下が許容されている。更にはヘテロエピタキシャルの代表である Si 上 GaAs 単結晶成長においては、 $\sim 4\%$  の格子の不整合が許容されている。いずれも現在良質な単結晶が実現され実用化されている。従って、このような科学技術上的一般概念から、鋼化物超伝導体との相互エピタキシャル成長が可能な（配線アの使用温度では超伝導状態を示さない）物質 2 として、鋼化物超伝導体との格子定数の不整合条件が 4% 以下の物質とする。一般に格子構造を考える上で対角線、あるいは対角線の  $1/2$  を翻格子とみなすことができるのは結晶学上でよく行なわれている。従って、例えば、 $BiSrCaCuO_y$  系の場合、対角線翻格子として  $a_0/2^{1/2} \sim 3.82 \text{ \AA}$  を取ることができる。このような考え方に基付き、鋼化物超伝導体との格

子定数の不整合条件が 4% 以下の物質の格子定数の範囲を次表 1 に示す。同表に、高  $T_c$  鋼化物超伝導体との相互ヘテロエピタキシャルが可能な格子定数の範囲が示されている。

表 1

高 $T_c$ 鋼化物超伝導体	ヘテロエピタキシャルが可能な格子定数の範囲
$La_{1-x}M_xCuO_y$ 系	2.57 $\text{\AA}$ ~ 2.78 $\text{\AA}$ ( $2.67 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	3.63 $\text{\AA}$ ~ 3.93 $\text{\AA}$ ( $3.78 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	5.13 $\text{\AA}$ ~ 5.56 $\text{\AA}$ ( $5.34 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
$Ln_1Ba_2Cu_3O_y$ 系	2.61 $\text{\AA}$ ~ 2.83 $\text{\AA}$ ( $2.72 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	3.70 $\text{\AA}$ ~ 4.00 $\text{\AA}$ ( $3.85 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	5.23 $\text{\AA}$ ~ 5.66 $\text{\AA}$ ( $5.44 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
$BiSrCaCuO_y$ 系	2.59 $\text{\AA}$ ~ 2.81 $\text{\AA}$ ( $2.70 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	3.67 $\text{\AA}$ ~ 3.97 $\text{\AA}$ ( $3.82 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	5.18 $\text{\AA}$ ~ 5.62 $\text{\AA}$ ( $5.40 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
$TlBaCaCuO_y$ 系	2.62 $\text{\AA}$ ~ 2.84 $\text{\AA}$ ( $2.73 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	3.71 $\text{\AA}$ ~ 4.01 $\text{\AA}$ ( $3.86 \text{ \AA} \pm 4\%$ )
	5.24 $\text{\AA}$ ~ 5.68 $\text{\AA}$ ( $5.46 \text{ \AA} \pm 4\%$ )

鋼化物超伝導体との相互ヘテロエピタキシャルが可能な物質としては、表 1 の格子整合条件を満足する材料で、真空の透磁率に近い透磁率を持つ物質（使用温度で超伝導状態を示す超伝導体、あるいは磁性体を除く物質、例えば絶縁体、半導体、金属、使用温度に比べ低い超伝導転移温度  $T_c$  を持つ超伝導体など）を用いることができる。この条件を満足する材料系としては数え切れない程に多くあるが、一例として、物質名、及び格子定数を次表 2 に示す。これが第 5 実施例である。同表に、高  $T_c$  鋼化物超伝導体との相互ヘテロエピタキシャルが可能な物質例を示す。

表2 酸化物超伝導体との格子整合がとれる  
物質名 (A) 格子定数 (A) 物質名 (A) 格子定数 (A)

物質名	格子定数 (A)	物質名	格子定数 (A)
La	5.29	Zn	2.67
Ca	3.98	AlP	5.45
B <sub>2</sub> C <sub>7</sub>	2.72	GaP	5.45
Ni	2.65	ZnS	5.42
BeCu	2.70	PbTe	2.60
ZnS	5.41	CaF <sub>2</sub>	5.45
Si	5.43	SrO	5.16
Eu	3.96	BaO	5.52
Yb	3.87	YAlO <sub>3</sub>	3.68
V	2.68	GdAlO <sub>3</sub>	3.71
Ru	2.64	EuAlO <sub>3</sub>	3.73
Rh	2.68	NdAlO <sub>3</sub>	3.73
Pd	2.75	SmAlO <sub>3</sub>	3.73
Cs	5.24	PrAlO <sub>3</sub>	3.76
W	2.74	LaAlO <sub>3</sub>	3.78
Re	2.73	NdGaO <sub>3</sub>	3.85
Os	2.67	PrGaO <sub>3</sub>	3.88
Ir	2.71	CeGaO <sub>3</sub>	3.88
Pt	2.77	CoF <sub>3</sub>	5.28
Mn	2.73	PdF <sub>3</sub>	5.52
Mo	2.73	CsCd(Mn <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	5.39
Na	3.72	DyFeO <sub>3</sub>	5.30
PbCl	2.79	GdCoO <sub>3</sub>	3.73
W	2.74	NaMgF <sub>3</sub>	5.363

## (実施例6)

第6実施例としては前記第5実施例において配線アの動作温度では超伝導状態を示さない物質2の結晶構造を、ペロウスカイト構造とするものである。超伝導転移温度  $T_c$  ~ 90K を持つ  $La_2Ba_2Cu_3O_y$  ( $La$  : Y、あるいはランタンノイド元素) は Cu 原子を中心にした酸素八面体が規則的に配列したペロウスカイト構造が基本となっている。また、転移温度 ~ 80K、~ 110K を持つ  $BiSrCaCuO_y$  系超伝導体 (転移温度 ~ 80K は  $Bi_2Sr_2Ca_1Cu_2O_y$ 、転移温度 ~ 110K は  $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_y$  と言われている。)、あるいは転移温度 ~ 120K の  $TlBaCaCuO_y$  系超伝導体も同様な構造とみなせる。従って、酸化物超伝導体との相互ヘテロエピタキシャル成長を考える際、同一の結晶構造を持つ物質がより良い選択になることが予想できる。それ故、本実施例としては、配線アの使用温度では超伝導状態を示さない物質2として、酸化物超伝導体との格子定数不整合度が4%

以下で、酸化物超伝導体と同類の結晶構造であるペロウスカイト構造を持つ物質とすることにする。

## (実施例7)

更に、前記第4乃至第6実施例に対しての共通の補足的条件として、配線アの使用温度では超伝導状態を示さない物質2として、その物質構成元素の超伝導体中への拡散による超伝導性の劣化が少ないことが挙げられる。本実施例としては、前記第4乃至第6実施例で、この条件を具備したものである。例えば、酸化物超伝導体の構成元素で、格子定数の不整合度が4%以下の金属として、La、Ca、Eu、Yb等、及びこれ等の合金、酸化物超伝導体との反応による超伝導性の劣化がないと実験的に確認されている Pt、Pd、Ru、V 等の金属、SrO、BaO 等の酸化物、CaF<sub>2</sub> 等の沸化物等がある。また、同様の考え方で、酸化物超伝導体の構成元素である希土類を含むペロウスカイト構造の物質が挙げられる。更にこれ等のペロウスカイト構造の内、酸化物超伝導体と熱的、化学的に反応しにくい材料系の方が更によ

り適している可能性が高い（従って、出来るだけ高融点材料が望ましい。）。この観点から、例えば、 $\text{Ln}_x\text{O}_3$  ( $X$ : Fe, Co, Ni)、 $\text{Ln}\text{AlO}_3$ 、 $\text{LaGaO}_3$  ( $\text{Ln}$ : イットリウム、及びランタノイド金属) などがある。

（発明の効果）

かくして本発明は、超伝導体薄膜と、使用温度では超伝導状態を示さない物質（絶縁体、半導体、金属、超伝導転移温度  $T_c$  が動作温度に比べ低い超伝導体）から形成された薄膜からなる2重積層構造を基本単位に複数回積層した構造により、超伝導体表面面積を増加させることができる。従って、大きな臨界電流値を持つ超伝導配線を実現でき、エレクトロニクスからパワーエレクトロニクスの分野に渡るまで、幅広い応用が期待できる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の実施例による超伝導配線の基本構造を示す斜面図、第2図は従来の超伝導配線の基本構造を示す斜面図である。

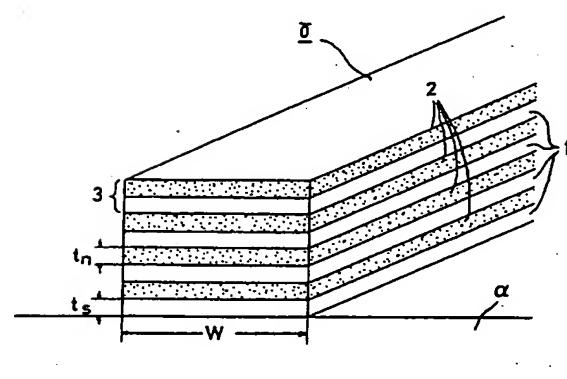
1…超伝導体、2…配線の使用温度で超伝導状

態を示さない物質、3…2重積層体、 $\alpha$ …基板  
 $\beta$ …ア…配線、 $t$ 、 $t_n$ 、 $t_s$ …厚み、W…幅

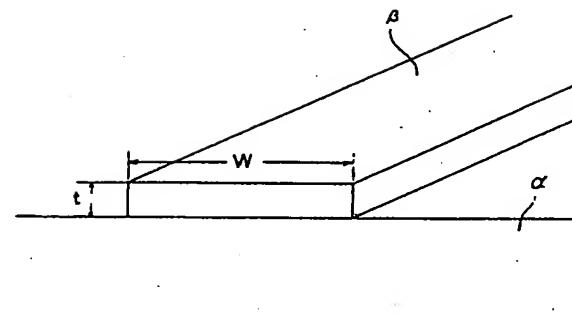
特許出願人 日本電信電話株式会社  
 代理人 菅 隆



第1図



第2図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**